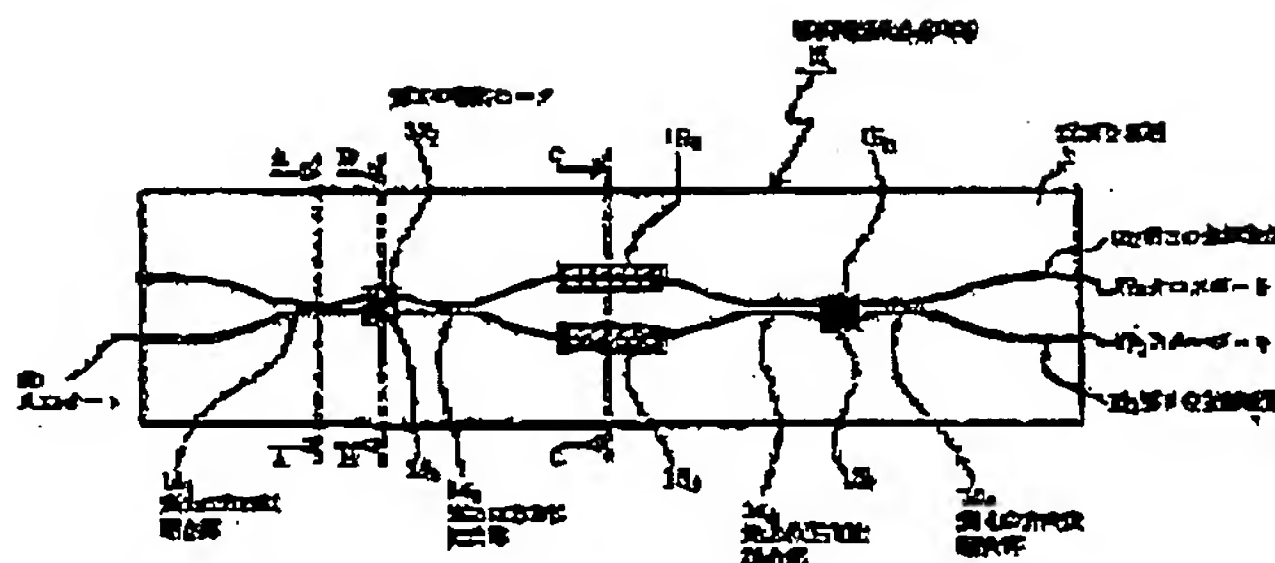


<b>Patent number:</b>	JP5196827
<b>Publication date:</b>	1993-08-06
<b>Inventor:</b>	JINGUJI KANAME; KAWACHI MASAO; TAKATO NORIO
<b>Applicant:</b>	NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE
<b>Classification:</b>	
- international:	G02B6/12
- european:	
<b>Application number:</b>	JP19920008509 19920121
<b>Priority number(s):</b>	JP19920008509 19920121

**PURPOSE:**To handle en bloc plural light signals, which are multiplexed over a wide wavelength range. **CONSTITUTION:**This optical multiplexer demultiplexer includes 1st-4th directional coupling parts 141-144 which are formed in order by putting four intermediate parts of optical waveguides 131 and 132 close to each other and nearly equal in coupling efficiency. The 1st optical waveguide 131 and 2nd optical waveguide 132 are equal or nearly equal in optical path length; and the 2nd optical waveguide 132 is a 1st optical path length difference longer than the 1st optical waveguide 131 at the 1st directional coupling part 141 and 2nd directional coupling part 142, and the 1st optical waveguide 131 is the 1st optical path length difference or nearly a 2nd optical path length difference longer than the 2nd optical waveguide 132 at the 3rd directional coupler 143 and 4th directional coupling part 144.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-196827

(43)公開日 平成5年(1993)8月6日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 2 B 6/12

識別記号

庁内整理番号

F 7036-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数5(全10頁)

(21)出願番号 特願平4-8509

(22)出願日 平成4年(1992)1月21日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 神宮寺 要

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 河内 正夫

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 高戸 範夫

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

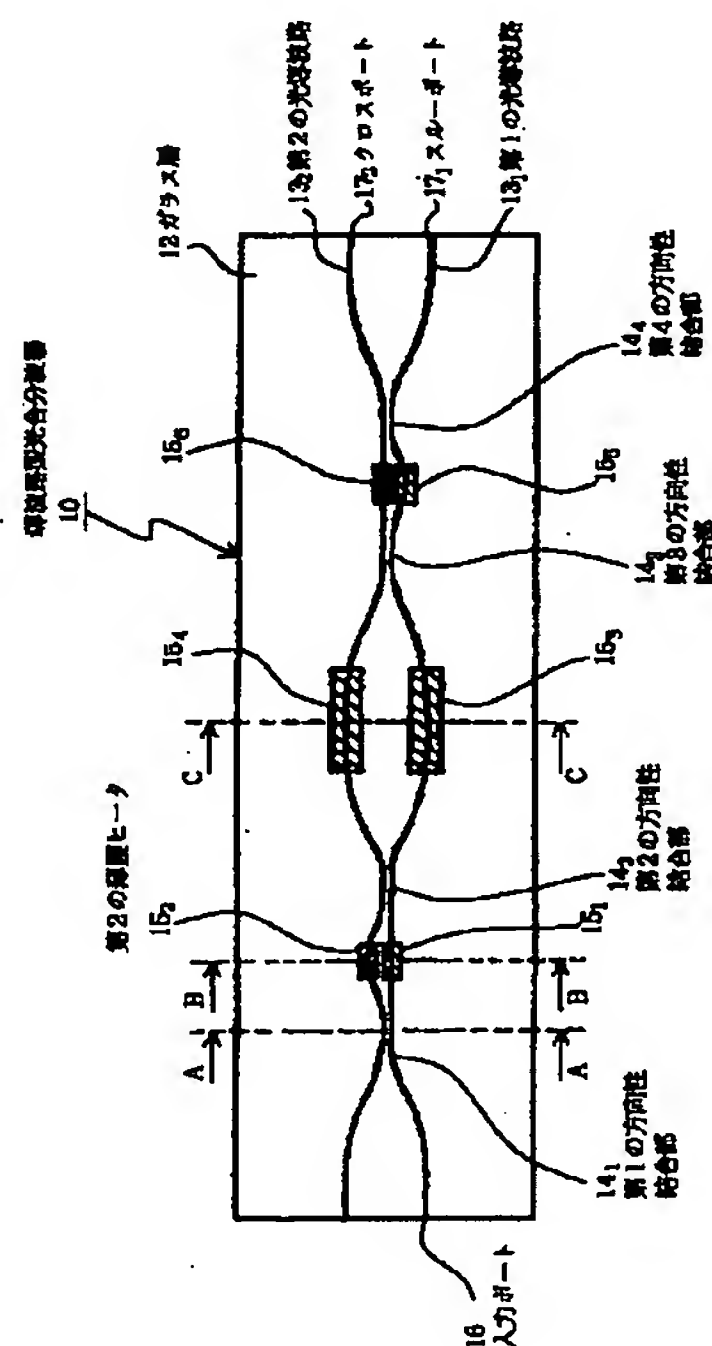
(74)代理人 弁理士 若林 忠

(54)【発明の名称】 導波路型光合分波器

(57)【要約】

【目的】 導波路型光合分波器を、広い波長範囲で複数の多重化された信号光を一括して取り扱うことができるようにする。

【構成】 導波路型光合分波器10は、各光導波路13<sub>1</sub>、13<sub>2</sub>の中間部が4箇所互いに近接されて順次形成された、結合率がほぼ等しい第1乃至第4の方向性結合部14<sub>1</sub>～14<sub>4</sub>を含む。ここで、第2の方向性結合部14<sub>2</sub>と第3の方向性結合部14<sub>3</sub>の間では、第1の光導波路13<sub>1</sub>と第2の光導波路13<sub>2</sub>とが等しいかほぼ等しい光路長を有し、第1の方向性結合部14<sub>1</sub>と第2の方向性結合部14<sub>2</sub>の間では、第2の光導波路13<sub>2</sub>の方が第1の光導波路13<sub>1</sub>よりも第1の光路長差だけ長く、第3の方向性結合部14<sub>3</sub>と第4の方向性結合部14<sub>4</sub>の間では、第1の光導波路13<sub>1</sub>の方が第2の光導波路13<sub>2</sub>よりも、前記第1の光路長差と等しいかほぼ等しい第2の光路長差だけ長くなっている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、該基板上に形成された第1の光導波路および第2の光導波路とを含み、

該第1および第2の光導波路のいずれか一方の光導波路から入射された2つの信号光を分波して、該2つの信号光のいずれか一方の信号光を前記一方の光導波路から出射せるとともに、前記2つの信号光の他方の信号光を前記第1および第2の光導波路の他方の光導波路から出射させ、

前記第1の光導波路から入射された信号光と前記第2の光導波路から入射された信号光とを合波して、前記第1および第2の光導波路のいずれか一方の光導波路から出射させる導波路型光合分波器において、

前記第1の光導波路と前記第2の光導波路との中間部が4箇所互いに近接されて順次形成された、結合率がほぼ等しい第1乃至第4の方向性結合部を含み、

前記第2の方向性結合部と前記第3の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路とが等しいかほぼ等しい光路長を有し、

前記第1の方向性結合部と前記第2の方向性結合部との間では、前記第2の光導波路の方が前記第1の光導波路よりも第1の光路長差だけ長く、

前記第3の方向性結合部と前記第4の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路の方が前記第2の光導波路よりも、前記第1の光路長差と等しいかほぼ等しい第2の光路長差だけ長いことを特徴とする導波路型光合分波器。

【請求項2】 前記第1の方向性結合部と前記第2の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路の方が前記第2の光導波路よりも前記第1の光路長差だけ長く、前記第3の方向性結合部と前記第4の方向性結合部との間では、前記第2の光導波路の方が前記第1の光導波路よりも前記第2の光路長差だけ長いことを特徴とする請求項1記載の導波路型光合分波器。

【請求項3】 前記第1の光路長差と前記第2の光路長差とが、ミクロンオーダーであることを特徴とする請求項1または請求項2記載の導波路型光合分波器。

【請求項4】 前記第2の方向性結合部と、前記第3の方向性結合部と、該第2の方向性結合部と該前記第3の方向性結合部との間の前記第1の光導波路および前記第2の光導波路の代わりに、

前記第2の方向性結合部の結合率と前記第3の方向性結合部の結合率との和とほぼ等しい結合率を有する、一つの方向性結合部を含むことを特徴とする請求項1乃至請求項3いずれか1項記載の導波路型光合分波器。

【請求項5】 前記第1の光導波路と前記第2の光導波路とがそれぞれ、平面基板上に形成された石英系ガラス層に埋設された、石英系ガラスからなるコア部より構成された石英系単一モード光導波路であることを特徴とする請求項1乃至請求項4いずれか1項記載の光合分波

器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、導波路型光合分波器に関し、特に、光通信分野で用いられる、波長の異なる2つ以上の信号光を合波または分波する導波路型光合分波器に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】光通信分野では、波長の異なる信号光を多重化して伝送する技術が重要である。すなわち、異なる光導波路をそれぞれ伝搬してきた、波長の異なる2つ以上の信号光を合波して一本の光導波路に収束させるとともに、一本の光導波路を伝搬してきた、波長の異なる2つ以上の信号光を分波して各光導波路に波長ごとに分解するための光合分波器は、光通信分野においてキーとなる部品である。

【0003】従来、このような光合分波器としては、方向性結合器型光合分波器が用いられてきた。方向性結合器型光合分波器は、二本の光導波路を接近させることにより生じるモード結合現象を利用したものであり、バルクタイプのもので平面基板上に形成する導波路型タイプのものに大別される。

【0004】バルクタイプの方向性結合器型光合分波器は、一般に、二本の光ファイバを融着接続させることにより作成されるが、微動機構を用いて機械的に接近量を調節する可変型のものも作成されている。バルクタイプの方向性結合器型光合分波器は、比較的低損失であるという利点を有する反面、小型化が難しく、量産に適さず、高価格であるという欠点を有する。

【0005】また、平面基板上に形成する導波路型タイプの方向性結合器型光合分波器は、フォトリソグラフィや微細加工技術を利用して作成できるため、同一品質のものを大量生産することに適し、集積化も可能であるので、光合分波を行うための主要素子として注目されている。

【0006】図7(A)、(B)はそれぞれ、従来の代表的な導波路型光合分波器の一つである方向性結合器型光合分波器を説明するための図である。

【0007】方向性結合器型光合分波器100は、平面基板121と、平面基板121上に形成された、互いに平行な第1の光導波路121aおよび第2の光導波路121bと、各光導波路121a、121bの中間部が互いに近接されて形成された方向性結合部121cとを含む。ここで、方向性結合部121cは、たとえば第1の光導波路121aの入力ポート123aから同時に入射された第1の波長 $\lambda_1$  ( $=1.3\mu\text{m}$ )の信号光と第2の波長 $\lambda_2$  ( $=1.52\mu\text{m}$ )の信号光とを完全に分離して、第1の光導波路121aの出力ポート123bから第1の波長 $\lambda_1$  ( $=1.3\mu\text{m}$ )の信号光を出力し、第2の光導波路121bの出力ポート124bから第2の波長 $\lambda_2$  ( $=1.52\mu\text{m}$ )の信号光を出力するように設



計されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来の方向性結合器型光合分波器100では、第2の光導波路121bの出力ポート124bから出力される信号光の光強度透過度は、図7(B)に示すように、波長 $\lambda = 1.52 \mu\text{m}$ の近傍においてはポイント的で狭いため、数十nmの広い波長範囲で複數に多重化された信号光を一括して取り扱うことができないという問題がある。

【0009】本発明の目的は、広い波長範囲で複數に多重化された信号光を一括して取り扱うことができる導波路型光合分波器を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の導波路型光合分波器は、基板と、該基板上に形成された第1の光導波路および第2の光導波路とを含み、該第1および第2の光導波路のいずれか一方の光導波路から入射された2つの信号光を分波して、該2つの信号光のいずれか一方の信号光を前記一方の光導波路から出射させるとともに、前記2つの信号光の他方の信号光を前記第1および第2の光導波路の他方の光導波路から出射させ、前記第1の光導波路から入射された信号光と前記第2の光導波路から入射された信号光とを合波して、前記第1および第2の光導波路のいずれか一方の光導波路から出射させる導波路型光合分波器において、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路との中間部が4箇所互いに近接されて順次形成された、結合率がほぼ等しい第1乃至第4の方向性結合部を含み、前記第2の方向性結合部と前記第3の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路とが等しいかほぼ等しい光路長を有し、前記第1の方向性結合部と前記第2の方向性結合部との間では、前記第2の光導波路の方が前記第1の光導波路よりも第1の光路長差だけ長く、前記第3の方向性結合部と前記第4の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路の方が前記第2の光導波路よりも、前記第1の光路長差と等しいかほぼ等しい第2の光路長差だけ長い。

【0011】ここで、前記第1の方向性結合部と前記第2の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路の方が前記第2の光導波路よりも前記第1の光路長差だけ長く、前記第3の方向性結合部と前記第4の方向性結合部との間では、前記第2の光導波路の方が前記第1の光導波路よりも前記第2の光路長差だけ長くてもよい。

【0012】また、前記第1の光路長差と前記第2の光路長差とが、ミクロンオーダーであってもよい。

【0013】さらに、前記第2の方向性結合部と、前記第3の方向性結合部と、該第2の方向性結合部と該前記第3の方向性結合部との間の前記第1の光導波路および前記第2の光導波路の代わりに、前記第2の方向性結合部の結合率と前記第3の方向性結合部の結合率との和とほぼ等しい結合率を有する、一つの方向性結合部を含ん

でいてもよい。

【0014】前記第1の光導波路と前記第2の光導波路とがそれぞれ、平面基板上に形成された石英系ガラス層に埋設された、石英系ガラスからなるコア部より構成された石英系単一モード光導波路であってもよい。

【0015】

【作用】本発明の導波路型光合分波器は、第1の光導波路と第2の光導波路との中間部が4箇所互いに近接されて順次形成された、結合率がほぼ等しい第1乃至第4の方向性結合部を含み、第2の方向性結合部と第3の方向性結合部との間では、第1の光導波路と第2の光導波路とがほぼ等しい光路長を有し、第1の方向性結合部と第2の方向性結合部との間では、第2の光導波路の方が第1の光導波路よりも第1の光路長差だけ長く、第3の方向性結合部と第4の方向性結合部との間では、第1の光導波路の方が第2の光導波路よりも、第1の光路長差とほぼ等しい第2の光路長差だけ長いことにより、後述する理由により、光強度透過度が"1"となる波長帯および"0"となる波長帯を平坦化することができる。

【0016】

【実施例】次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0017】図1は、本発明の導波路型光合分波器の第1の実施例を示す平面図であり、図2(A)～(C)はそれぞれ、図1のA-A線に沿う拡大断面図、図1のB-B線に沿う拡大断面図および図1のC-C線に沿う拡大断面図である。

【0018】導波路型光合分波器10は、シリコン基板11と(図2(A)参照)、シリコン基板11上に形成された、膜厚 $50 \mu\text{m}$ 程度の $\text{SiO}_2$ 系ガラスからなるガラス層12と、ガラス層12内に形成された第1の光導波路13、および第2の光導波路13、と、図2(A)に示すように各光導波路13<sub>1</sub>、13<sub>2</sub>の中間部が4箇所互いに近接されて順次形成された第1乃至第4の方向性結合部14<sub>1</sub>～14<sub>4</sub>と、第1の方向性結合部14<sub>1</sub>と第2の方向性結合部14<sub>2</sub>との間の第1および第2の光導波路13<sub>1</sub>、13<sub>2</sub>の上方でかつガラス層12上にそれぞれ形成された第1および第2の薄膜ヒータ15<sub>1</sub>、15<sub>2</sub>、(図2(B)参照)と、第2の方向性結合部14<sub>2</sub>と第3の方向性結合部14<sub>3</sub>との間の第1および第2の光導波路13<sub>1</sub>、13<sub>2</sub>の上方でかつガラス層12上にそれぞれ形成された第3および第4の薄膜ヒータ15<sub>3</sub>、15<sub>4</sub>、(図2(C)参照)と、第3の方向性結合部14<sub>3</sub>と第4の方向性結合部14<sub>4</sub>との間の第1および第2の光導波路13<sub>1</sub>、13<sub>2</sub>の上方でかつガラス層12上にそれぞれ形成された第5および第6の薄膜ヒータ15<sub>5</sub>、15<sub>6</sub>、とを含む。

【0019】次に、各光導波路13<sub>1</sub>、13<sub>2</sub>、各方向性結合部14<sub>1</sub>～14<sub>4</sub>および各薄膜ヒータ15<sub>1</sub>～15<sub>6</sub>について詳しく説明する。

【0020】(1) 各光導波路13<sub>1</sub>, 13<sub>2</sub>,  
第1の光導波路13<sub>1</sub>, および第2の光導波路13<sub>2</sub>, はそれぞれ、S<sub>1</sub>O<sub>2</sub>-GeO<sub>2</sub>系ガラスからなるコア部より構成された石英系単一モード光導波路であり、コア部が8μm角程度の断面形状を有するものである。

【0021】また、第2の方向性結合部14<sub>2</sub>, と第3の方向性結合部14<sub>3</sub>, との間では、第1の光導波路13<sub>1</sub>, と第2の光導波路13<sub>2</sub>, とが等しいかほぼ等しい光路長を有し、第1の方向性結合部14<sub>1</sub>, と第2の方向性結合部14<sub>2</sub>, との間では、第2の光導波路13<sub>2</sub>, の方が第1の光導波路13<sub>1</sub>, よりも第1の光路長差だけ長く、第3の方向性結合部14<sub>3</sub>, と第4の方向性結合部14<sub>4</sub>, との間では、第1の光導波路13<sub>1</sub>, の方が第2の光導波路13<sub>2</sub>, よりも、前記第1の光路長差と等しいかほぼ等しい第2の光路長差だけ長くなっている。

【0022】なお、前記第1の光路長差および前記第2の光路長差は、その値を適宜選ぶことにより、各種の周波数帯の光合分波が可能となる。

【0023】(2) 各方向性結合部14<sub>1</sub>~14<sub>4</sub>,  
第1乃至第4の方向性結合部14<sub>1</sub>~14<sub>4</sub>, は、第1の光導波路13<sub>1</sub>, と第2の光導波路13<sub>2</sub>, とを数μm程度の間隔に保ちながら、0.1mmオーダーから1mmオーダーの距離にわたって互いに平行に配置することによりそれぞれ構成されている。各方向性結合部14<sub>1</sub>~14<sub>4</sub>, の結合率は、ほぼ等しくなるように設定されている。

【0024】(3) 各薄膜ヒータ15<sub>1</sub>~15<sub>6</sub>,  
第1乃至第6の薄膜ヒータ15<sub>1</sub>~15<sub>6</sub>, はそれぞれ、石英系光導波路の熱光学効果を利用して光路長差を微調するための位相制御器として機能するものである。なお、他の手段により、導波路型光合分波器10自体の温度の安定化が図れる場合には、第1乃至第6の薄膜ヒータ15<sub>1</sub>~15<sub>6</sub>, は不要である。

【0025】次に、導波路型光合分波器10において、広い波長範囲で複数に多重化された信号光を一括して取り扱うことができる原理について、図3を参照して説明する。

【0026】第1の方向性結合部14<sub>1</sub>, と第2の方向性結合部14<sub>2</sub>, と該2つの方向性結合部14<sub>1</sub>, 14<sub>2</sub>, 間の第1および第2の光導波路13<sub>1</sub>, 13<sub>2</sub>, とからなる非対称マッハツェンダ干渉計を第1の基本構成回路20<sub>1</sub>, とし、第3の方向性結合部14<sub>3</sub>, と第4の方向性結合部14<sub>4</sub>, と該2つの方向性結合部14<sub>3</sub>, 14<sub>4</sub>, 間の第1および第2の光導波路13<sub>1</sub>, 13<sub>2</sub>, とからなる非対称マッハツェンダ干渉計を第2の基本構成回路20<sub>2</sub>, としたとき、導波路型光合分波器10では、図3に等価的に示すように、第1の基本構成回路20<sub>1</sub>, と第2の基本構成回路20<sub>2</sub>, とが回路の中心点に対して光学的にはほぼ点対称配置となっている。

【0027】一般に、点対称配置を有する光回路は、基本構成回路の回路特性より全体の回路の透過特性が決定

される。いま、第1の光導波路13<sub>1</sub>, の図1図示左端を信号光の入力ポート16とし、第1の光導波路13<sub>1</sub>, の同図図示右端を出力ポート（以下、「スルーポート」と称する。）17<sub>1</sub>, とし、第2の光導波路13<sub>2</sub>, の同図図示右端を出力ポート（以下、「クロスポート」と称する。）17<sub>2</sub>, とし、第1の基本構成回路20<sub>1</sub>, の入力ポート16から第2の光導波路13<sub>2</sub>, への光強度透過度をP<sub>2</sub>, とすると、導波路型光合分波器10全体の入力ポート16からクロスポート17<sub>2</sub>, への光強度透過度P<sub>2</sub>' は、

$$P_2' = 1 - (1 - 2 \times P_2)^2 \quad (1)$$

と表される。(1)式より、以下のことがわかる。

【0028】P<sub>2</sub>=0のとき、P<sub>2</sub>'=0

P<sub>2</sub>=1のとき、P<sub>2</sub>'=0

P<sub>2</sub>=0.5のとき、P<sub>2</sub>'=1

また、P<sub>2</sub>=0.5のとき、(1)式の右辺のかっこ内は、“0”に近い値となるが、かっこ式に二乗がかかっているためにほとんど“0”に近い値となる。すなわち、P<sub>2</sub>=0.5のときには、二乗のために、導波路型光合分波器10全体の入力ポート16からクロスポート17<sub>2</sub>, への光強度透過度P<sub>2</sub>' はほぼ“1”となる。

【0029】図4に、第1の基本構成回路20<sub>1</sub>, の入力ポート16から第2の光導波路13<sub>2</sub>, への光強度透過度P<sub>2</sub>, の波長依存性を示す。ここで、導波路型光合分波器10全体の入力ポート16からクロスポート17<sub>2</sub>, への光強度透過度P<sub>2</sub>' が、波長λ=1.3μmで“0”となり、波長λ=1.55μmで“1”となるように、第1の基本構成回路20<sub>1</sub>, の入力ポート16から第2の光導波路13<sub>2</sub>, への光強度透過度P<sub>2</sub>, は、波長λ=1.3μmで“0”となり、波長λ=1.55μmで約“0.5”となるように設計されている。なお、図4に実線で示す曲線は、回路定数を最適化したときの波長依存性を示し、また、破線で示す曲線は、第1の方向性結合部14<sub>1</sub>, および第2の方向性結合部14<sub>2</sub>, の結合率が等しくないときの波長依存性を示し、さらに、一点鎖線で示す曲線は、第1の方向性結合部14<sub>1</sub>, および第2の方向性結合部14<sub>2</sub>, 間の第1光導波路13<sub>1</sub>, と第2の光導波路13<sub>2</sub>, との光路長が等しいときの波長依存性を示している。

【0030】図4に示す波長依存性より、以下のことがわかる。

(1) 第1の方向性結合部14<sub>1</sub>, および第2の方向性結合部14<sub>2</sub>, の結合率を等しくすることは、第1の基本構成回路20<sub>1</sub>, の入力ポート16から第2の光導波路13<sub>2</sub>, への光強度透過度P<sub>2</sub>, を波長λ=1.3μmで“0”にすることに寄与する。

(2) 第1の方向性結合部14<sub>1</sub>, および第2の方向性結合部14<sub>2</sub>, 間の第1光導波路13<sub>1</sub>, と第2の光導波路13<sub>2</sub>, との光路長を異ならせることは、第1の基本構成回路20<sub>1</sub>, の入力ポート16から第2の光導波路13<sub>2</sub>, へ



の光強度透過度 $P_2$ を波長 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ 付近で平坦化することに寄与するとともに、波長 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ での透過ピークを下げることに寄与する。

【0031】以上のことは、第2の基本構成回路20<sub>1</sub>についても同様である。

【0032】したがって、導波路型光合分波器10は、第1の基本構成回路20<sub>1</sub>と第2の基本構成回路20<sub>2</sub>とを点対称配置とすることにより、次に示す効果を奏する。

(1) 第2の方向性結合部14<sub>2</sub>と第3の方向性結合部14<sub>3</sub>の間では、第1の光導波路13<sub>1</sub>と第2の光導波路13<sub>2</sub>との光路長を等しくするかほぼ等しくし、また、第1の方向性結合部14<sub>1</sub>と第2の方向性結合部14<sub>2</sub>の間では、第2の光導波路13<sub>2</sub>の方を第1の光導波路13<sub>1</sub>よりも第1の光路長差だけ長くし、さらに、第3の方向性結合部14<sub>3</sub>と第4の方向性結合部14<sub>4</sub>の間では、第1の光導波路13<sub>1</sub>の方を第2の光導波路13<sub>2</sub>よりも前記第1の光路長差と等しいかほぼ等しい第2の光路長差だけ長くして、第1の基本構成回路20<sub>1</sub>の入力ポート16から第2の光導波路13<sub>2</sub>への光強度透過度 $P_2$ を波長 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ で約“0.5”とすることにより、導波路型光合分波器10全体の入力ポート16からクロスポート17<sub>2</sub>への光強度透過度 $P_2'$ を波長 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ で“1”とすることができる。

(2) さらに、第1乃至第4の方向性結合部14<sub>1</sub>～14<sub>4</sub>の結合率をほぼ等しくすることにより、導波路型光合分波器10全体の入力ポート16からクロスポート17<sub>2</sub>への光強度透過度 $P_2'$ が“0”となる波長帯域( $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ 付近)を平坦化することができる。

【0033】次に、図1に示した導波路型光合分波器10を試作した一例について説明する。

【0034】本試作例においては、導波路型光合分波器10全体の入力ポート16からクロスポート17<sub>2</sub>への光強度透過度 $P_2'$ が、波長 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ で“0”となり、波長 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ で“1”となるようにした。

【0035】火炎加水分解反応による公知のガラス膜堆積技術と反応性イオンエッチングによる公知の微細加工技術との組み合わせにより、導波路型光合分波器10を試作した。この作成手法では、フォトリソグラフィ技術が利用可能であるため、第1の光導波路13<sub>1</sub>および第2の光導波路13<sub>2</sub>の導波路長を $0.1 \mu\text{m}$ 以下の精度で作成することができる。

【0036】第2の方向性結合部14<sub>2</sub>と第3の方向性結合部14<sub>3</sub>の間では、第1の光導波路13<sub>1</sub>と第2の光導波路13<sub>2</sub>との導波路長を $0.1 \mu\text{m}$ 以下の精度で等しくすることにより、この部分の第1の光導波路13<sub>1</sub>と第2の光導波路13<sub>2</sub>との光路長をほぼ等しくした。また、第1の方向性結合部14<sub>1</sub>と第2の方向性結

合部14<sub>4</sub>との間で、第2の光導波路13<sub>2</sub>の方を第1の光導波路13<sub>1</sub>よりも第1の光路長差(たとえば、 $3.5 \mu\text{m}$ )だけ長くするために、この部分における第2の光導波路13<sub>2</sub>の形状を、曲率半径が $50 \text{mm}$ のゆるやかな円弧状とした。さらに、第3の方向性結合部14<sub>3</sub>と第4の方向性結合部14<sub>4</sub>との間で、第1の光導波路13<sub>1</sub>の方を第2の光導波路13<sub>2</sub>よりも前記第1の光路長差と等しいかほぼ等しい第2の光路長差(たとえば、 $3.5 \mu\text{m}$ )だけ長くするため、この部分における第1の光導波路13<sub>1</sub>の形状を、曲率半径が $50 \text{mm}$ のゆるやかな円弧状とした。

【0037】図5に、導波路型光合分波器10全体の入力ポート16からクロスポート17<sub>2</sub>への光強度透過度 $P_2'$ の波長依存性の実測結果を示す。

【0038】図5に示す結果より、本試作例の導波路型光合分波器10では、波長 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ 近傍で約 $800 \text{nm}$ の平坦領域( $1.28 \mu\text{m} \sim 1.36 \mu\text{m}$ )が得られるとともに、波長 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ 近傍で約 $800 \text{nm}$ の平坦領域( $1.5 \mu\text{m} \sim 1.58 \mu\text{m}$ )が得られた。

【0039】なお、本実施例の導波路型光合分波器10では、第1の方向性結合部14<sub>1</sub>と第2の方向性結合部14<sub>2</sub>との間で、第2の光導波路13<sub>2</sub>の方を第1の光導波路13<sub>1</sub>よりも第1の光路長差だけ長くし、第3の方向性結合部14<sub>3</sub>と第4の方向性結合部14<sub>4</sub>との間で、第1の光導波路13<sub>1</sub>の方を第2の光導波路13<sub>2</sub>よりも、前記第1の光路長差と等しいかほぼ等しい第2の光路長差だけ長くした。しかし、逆に、第1の方向性結合部14<sub>1</sub>と第2の方向性結合部14<sub>2</sub>との間で、第1の光導波路13<sub>1</sub>の方を第2の光導波路13<sub>2</sub>よりも第1の光路長差だけ長くし、第3の方向性結合部14<sub>3</sub>と第4の方向性結合部14<sub>4</sub>との間で、第2の光導波路13<sub>2</sub>の方を第1の光導波路13<sub>1</sub>よりも、前記第1の光路長差と等しいかほぼ等しい第2の光路長差だけ長くしても、同様の特性が得られる。

【0040】図6は、本発明の導波路型光合分波器の第2の実施例を示す平面図である。

【0041】本実施例の導波路型光合分波器30は、第2の方向性結合部14<sub>2</sub>と第3の方向性結合部14<sub>3</sub>と該2つの方向性結合部14<sub>2</sub>、14<sub>3</sub>間の第1および第2の光導波路13<sub>1</sub>、13<sub>2</sub>との代わりに、該2つの方向性結合部14<sub>2</sub>、14<sub>3</sub>の結合率の和とほぼ等しい結合率を有する一つの方向性結合部31を含む点で、図1に示した第1の実施例の導波路型光合分波器10と異なる。

【0042】すなわち、等しい光路長を有する2本の光導波路をそれぞれ伝搬する2つの光波を考えたとき、各光波の位相差は、一般に、伝搬距離に関係なく一定に保たれる。光の干渉現象は2つの光波の位相差を利用して生じる現象であるため、2本の光導波路の光路長をどのような長さにとっても、光路長差が一定であれば、全体

の干渉現象すなわち光合分波特性は変わらない。したがって、2本の光導波路を取り除いても、光合分波特性は変わらない。

【0043】以上の理由により、本実施例の導波路型光合分波器30においても、図1に示した第1の実施例の導波路型光合分波器10と同様の光合分波特性が得られる。実際に、導波路型光合分波器30全体の入力ポート16からクロスポート17<sub>2</sub>への光強度透過度 $P_2'$ の波長依存性を実測した結果、図5とほぼ同じ波長依存性が得られた。

【0044】本実施例の導波路型光合分波器30は、図1に示した第1の実施例の導波路型光合分波器10と比べて、方向性結合部の数が少なくすみ、また、回路の小型化も可能であるという利点を有する。

【0045】以上の説明において、光学的に点対称配置とは、幾何学的に点対称であるという意味ではない。すなわち、光学的には、光波が同様な干渉効果をもつような回路は同一とみなされるため、トポロジカルに同一であり、対応する光導波路の光路長差および対応する方向性結合部の結合率が同じである2つの回路は、光学的に同一回路とみなされる。

【0046】光導波路として、シリコン基板上に形成した石英系単一モード光導波路を用いたが、本発明の導波路型光合分波器はこれに限定されるものではなく、他の材料系の光導波路でも適用対象となる。たとえば、多成分ガラス基板やニオブ酸リチウム結晶基板上に金属イオン拡散技術により形成したイオン拡散光導波路でもよい。

【0047】シリコン基板上に個別に光合分波器が形成されている例を示したが、同一基板上に多数個の光合分波器がアレイ状に形成されている場合や、基板上や基板端部に受発光阻止を直接搭載するハイブリッド光集積回路の要素として、本発明の光合分波器を適用することができるというまでもない。

【0048】

【発明の効果】本発明は、上述したとおり構成されているため、次に示す効果を奏する。

【0049】第1の光導波路と第2の光導波路との中間部が4箇所互いに近接されて順次形成された、結合率がほぼ等しい第1乃至第4の方向性結合部を含み、第2の方向性結合部と第3の方向性結合部との間では、第1の光導波路と第2の光導波路とが等しいかほぼ等しい光路長を有し、第1の方向性結合部と第2の方向性結合部との間では、第2の光導波路の方が第1の光導波路よりも第1の光路長差だけ長く、第3の方向性結合部と第4の方向性結合部との間では、第1の光導波路の方が第2の光導波路よりも、第1の光路長差と等しいかほぼ等しい第2の光路長差だけ長いことにより、光強度透過度が”

1”となる波長帯および”0”となる波長帯を平坦化することができるため、広い波長範囲で複数に多重化された信号光を一括して取り扱うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の導波路型光合分波器の第1の実施例を示す平面図である。

【図2】本発明の導波路型光合分波器の一実施例を示す図であり、(A)は図1のA-A線に沿う拡大断面図、(B)は図1のB-B線に沿う拡大断面図、(C)は図1のC-C線に沿う拡大断面図である。

【図3】図1に示した導波路型光合分波器を光学的に等価に表した図である。

【図4】図3に示した第1の基本構成回路の入力ポートから第2の光導波路への光強度透過度の波長依存性を示すグラフである。

【図5】図1に示した導波路型光合分波器全体の入力ポートからクロスポートへの光強度透過度の波長依存性の実測結果を示すグラフである。

【図6】本発明の導波路型光合分波器の第2の実施例を示す平面図である。

【図7】従来の代表的な導波型光合分波器の一つである方向性結合器型光合分波器を説明するための図であり、(A)は平面図、(B)は光強度透過度の波長特性を示すグラフである。

【符号の説明】

10, 30 導波路型光合分波器

11 シリコン基板

12 ガラス層

13<sub>1</sub> 第1の光導波路

13<sub>2</sub> 第2の光導波路

14<sub>1</sub> 第1の方向性結合部

14<sub>2</sub> 第2の方向性結合部

14<sub>3</sub> 第3の方向性結合部

14<sub>4</sub> 第4の方向性結合部

15<sub>1</sub> 第1の薄膜ヒータ

15<sub>2</sub> 第2の薄膜ヒータ

15<sub>3</sub> 第3の薄膜ヒータ

15<sub>4</sub> 第4の薄膜ヒータ

15<sub>5</sub> 第5の薄膜ヒータ

15<sub>6</sub> 第6の薄膜ヒータ

16 入力ポート

17<sub>1</sub> スルーポート

17<sub>2</sub> クロスポート

20<sub>1</sub> 第1の基本構成回路

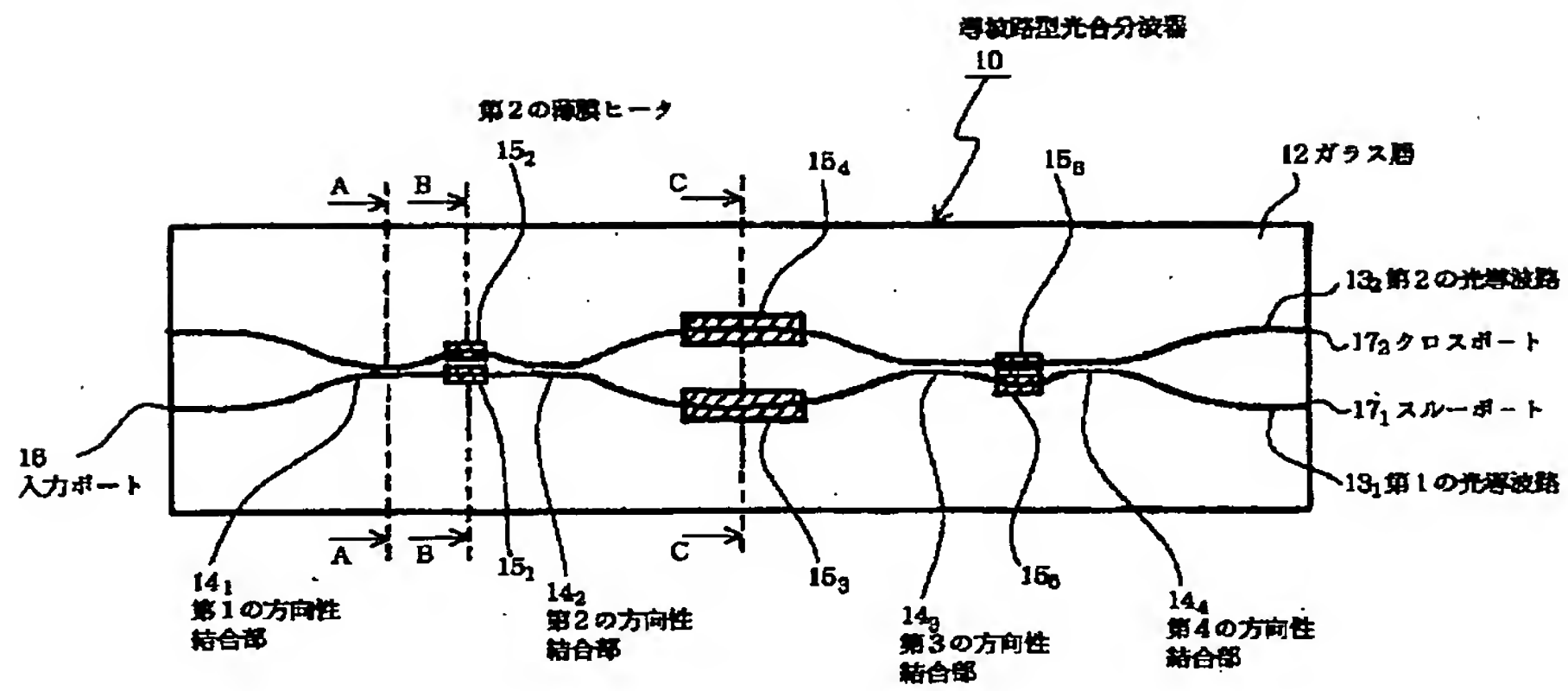
20<sub>2</sub> 第2の基本構成回路

31 方向性結合部

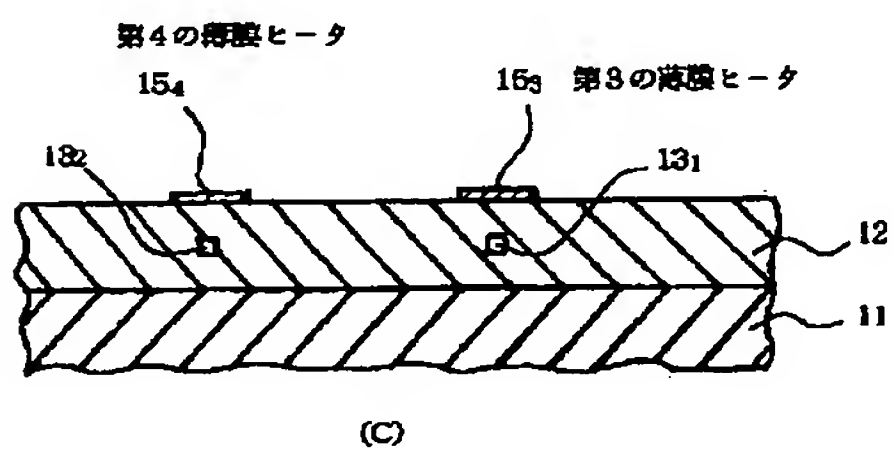
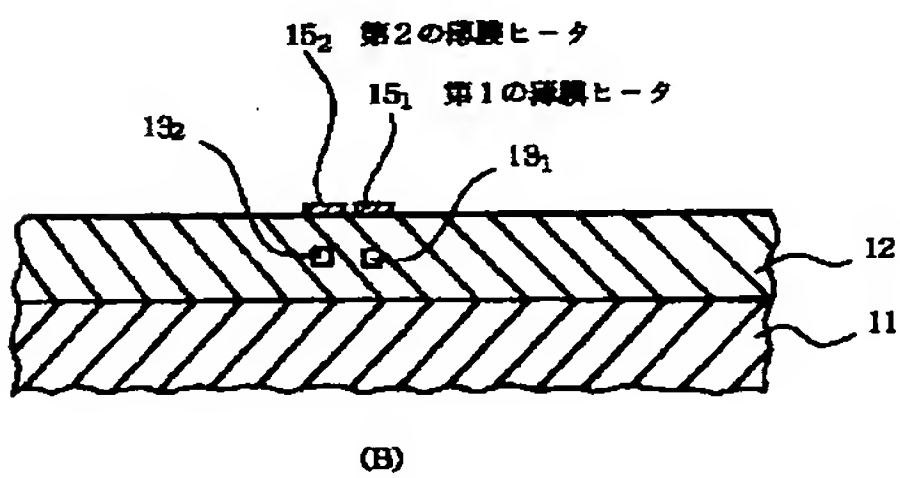
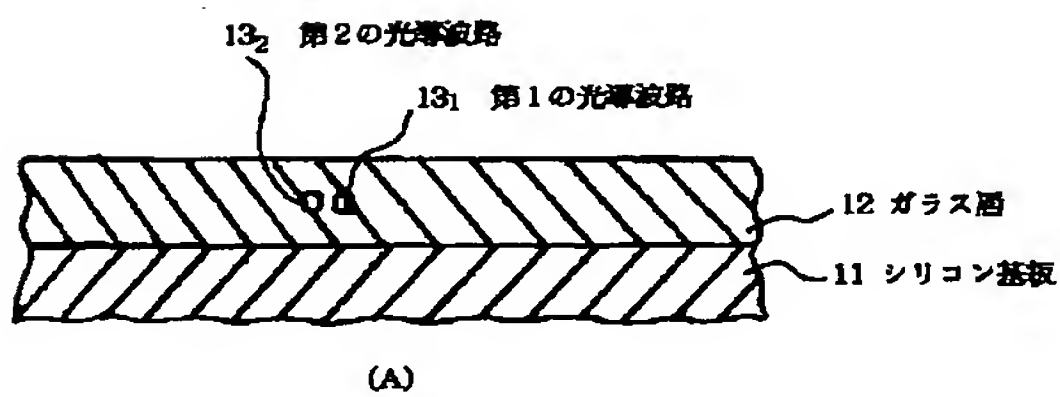
$P_1$ ,  $P_2'$  光強度透過度

$\lambda$  波長

【図1】



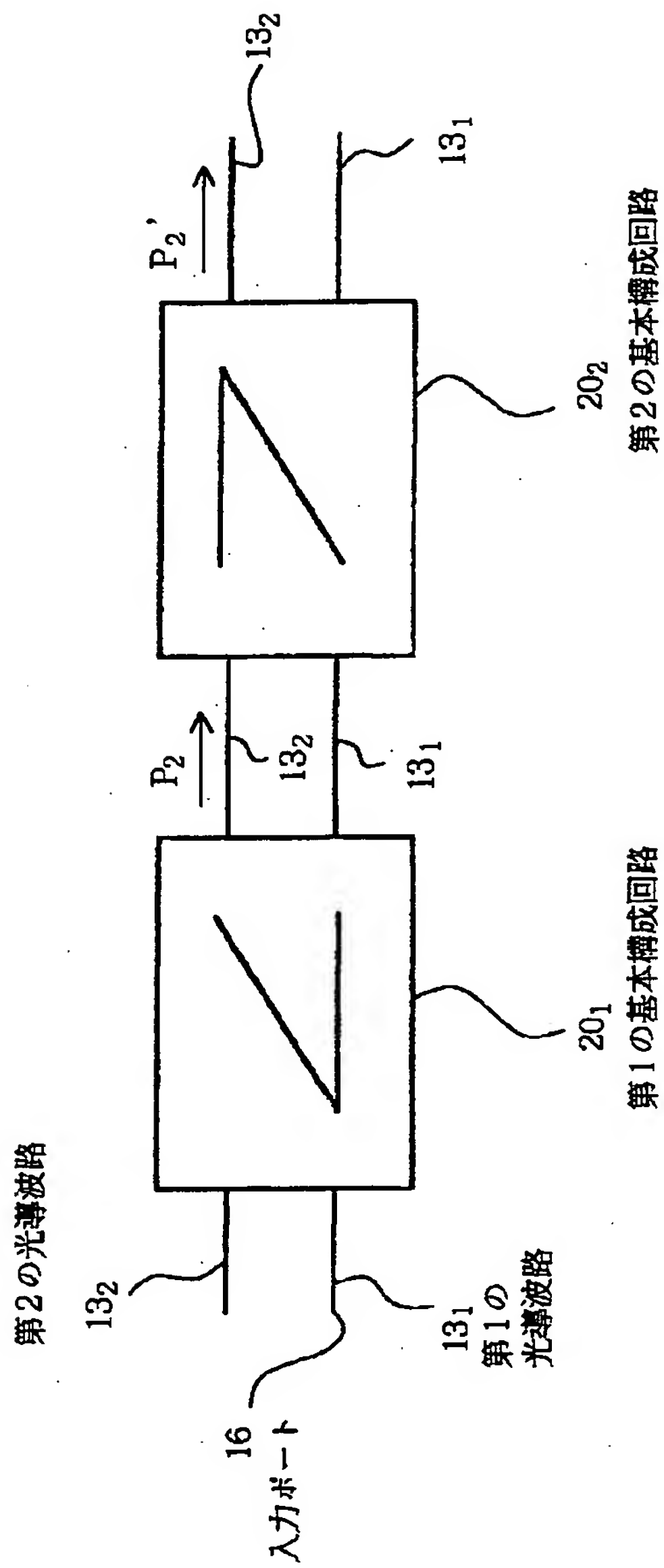
【図2】



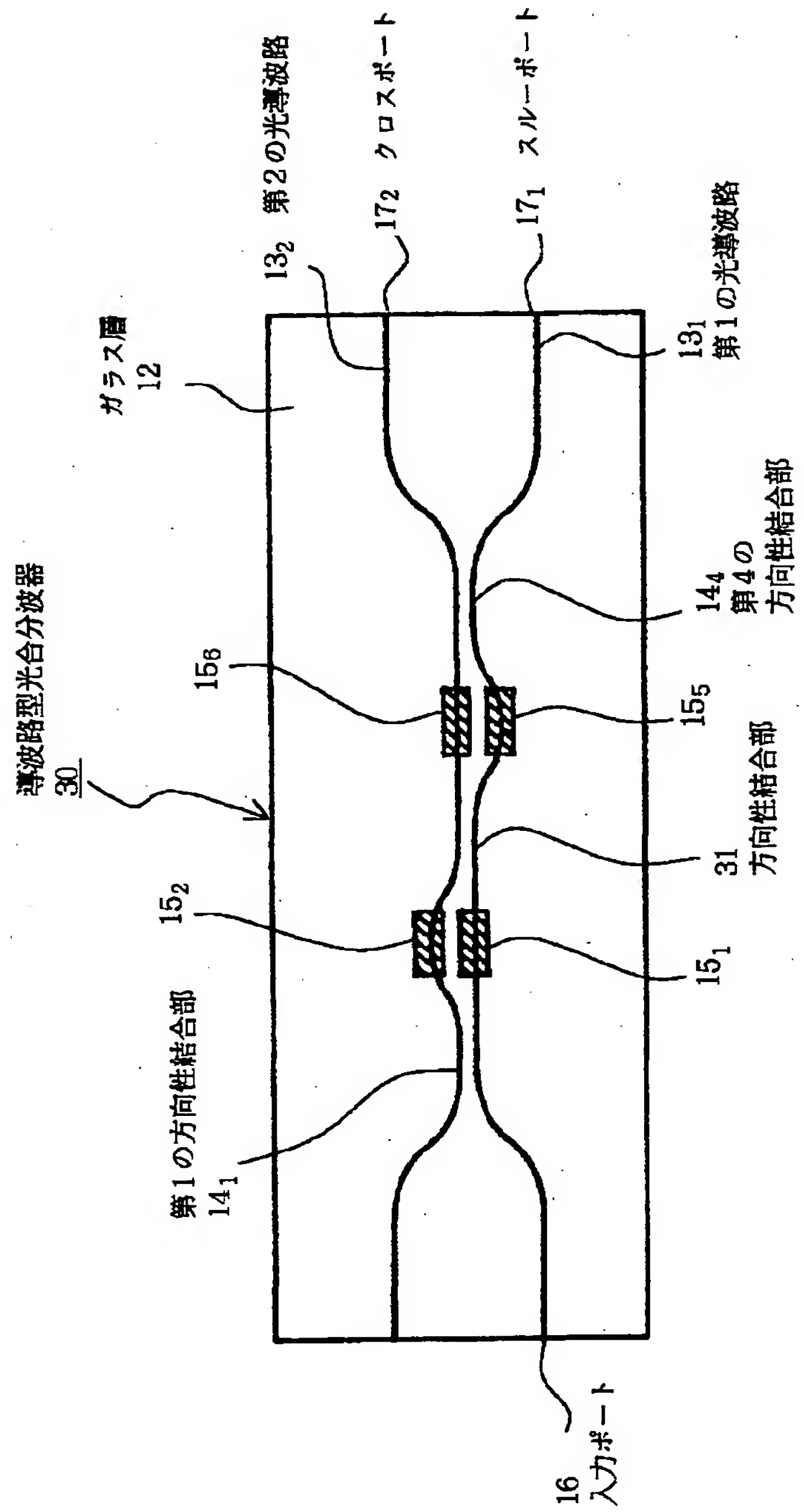


(8)

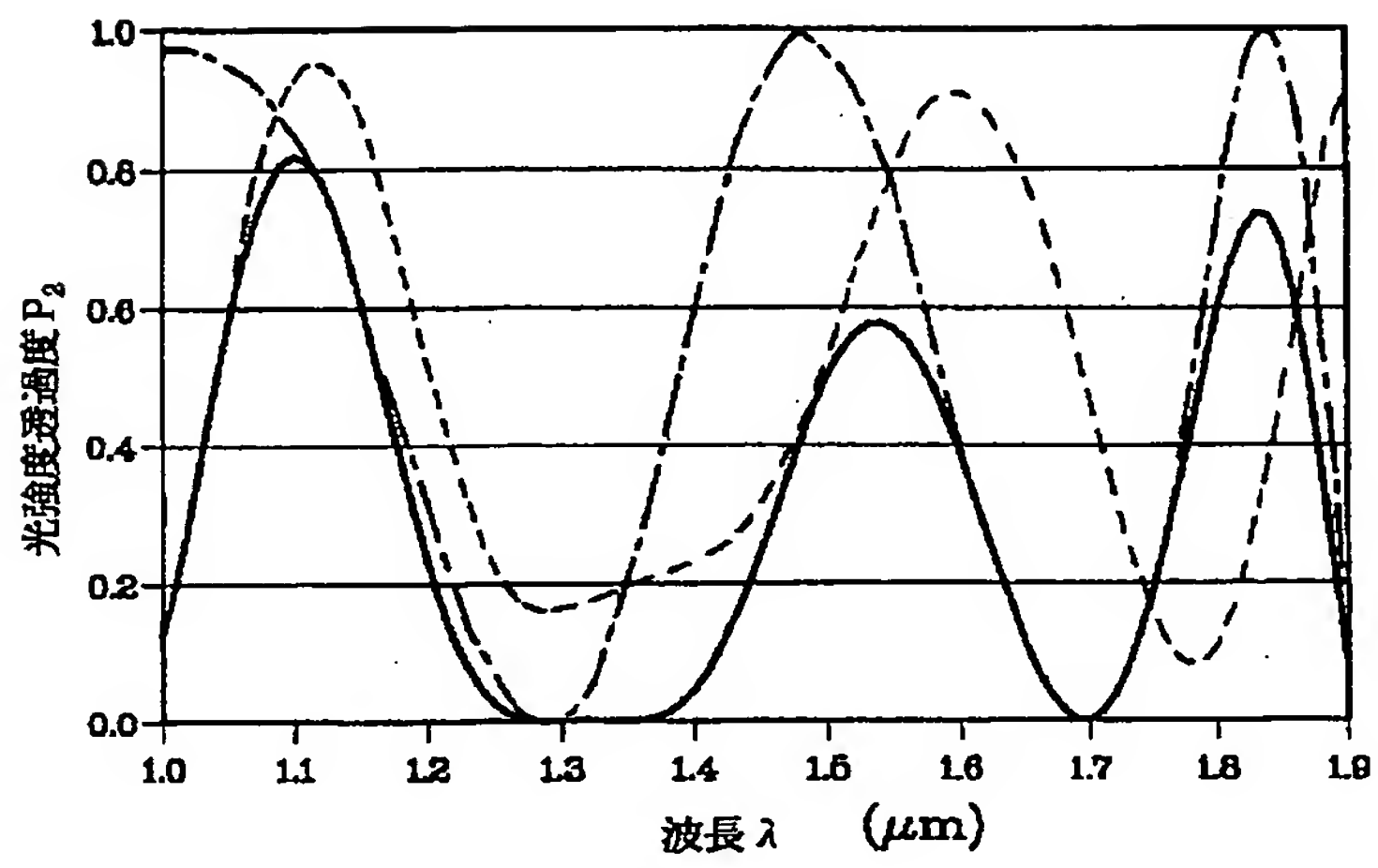
【図3】



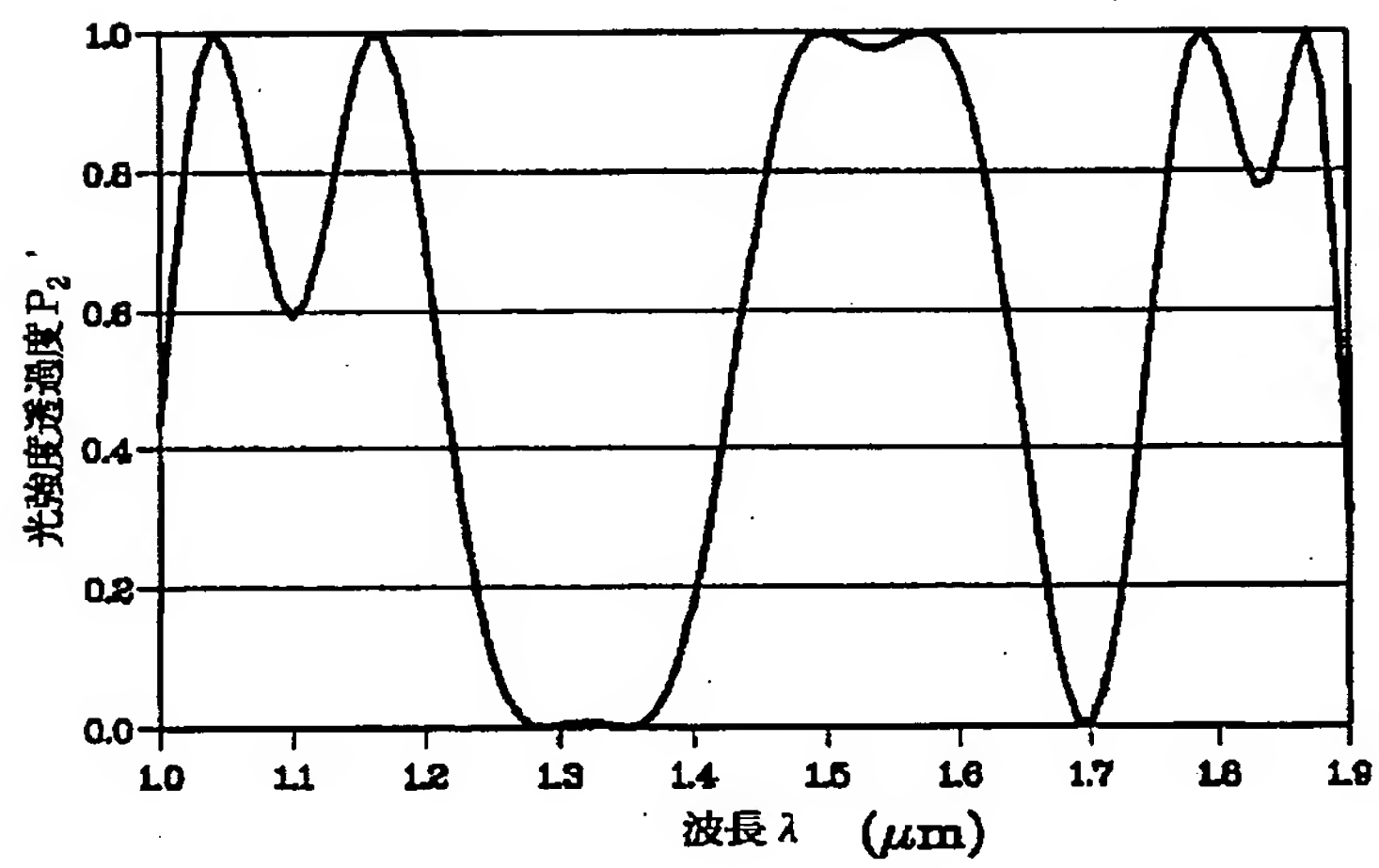
【図6】



【図4】



【図5】



【図7】

